Pêches et Océans Canada
Fisheries and Oceans Canada

Sciences des écosystèmes et des océans
Ecosystems and Oceans Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique
Région du Pacifique **Réponse des Sciences 2018/040**

ÉVALUATION DU RISQUE ÉCOLOGIQUE ET CHOIX D'INDICATEURS FONDÉS SUR LE RISQUE POUR LA ZONE DE PROTECTION MARINE DES RÉCIFS D'ÉPONGES SILICEUSES DU DÉTROIT D'HÉCATE ET DU BASSIN DE LA REINE-CHARLOTTE

Contexte

Les complexes des récifs d'éponges siliceuses du détroit d'Hécate et du bassin de la Reine-Charlotte ont été désignés comme formant une zone de protection marine (ZPM) en février 2017 (*Gazette du Canada* 2017); la ZPM représente 2 410 km^2 d'habitat aquatique protégé qui se situe le long de la côte nord du Pacifique canadien. Alors que l'on pensait précédemment que ces récifs avaient disparu de la planète, on estime maintenant que leur âge remonte à près de 9 000 ans (Conway *et al.* 2001). Les structures des récifs d'éponges siliceuses forment des habitats biogéniques complexes et fragiles qui sont confrontés à des risques associés aux contacts directs avec les humains et aux effets indirects d'activités anthropiques. Les récifs remplissent un certain nombre de fonctions écosystémiques clés; ils servent notamment de refuge et d'habitat d'élevage pour de nombreuses espèces aquatiques à différents stades biologiques. Si l'on veut surveiller et protéger adéquatement la ZPM des récifs d'éponges siliceuses du détroit d'Hécate et du bassin de la Reine-Charlotte (ZPM DH-DRC), on doit dresser un inventaire complet des risques qui pèsent sur des composantes de l'écosystème et qui découlent des activités qui s'y déroulent et des agents de stress qui y sont présents, et mener une évaluation de ces risques. Mené de façon collective, ce travail contribue à l'engagement pris par le gouvernement du Canada d'adopter une démarche durable, reposant sur l'approche de précaution et intégrée de l'écosystème pour la gestion des océans, tel que prescrit dans la *Loi sur les océans* et dans la Stratégie sur les océans.

Le Cadre d'évaluation du risque écologique (CERE) sur lequel repose la gestion écosystémique a été élaboré par la région du Pacifique de Pêches et Océans Canada (MPO) (O *et al.* 2015) pour que l'on puisse évaluer les menaces distinctes et cumulatives que font peser les agents de stress liés aux activités humaines sur des composantes importantes de l'écosystème d'intérêt. Le CERE est de nature hiérarchique et peut être appliqué à différents niveaux. Jusqu'à présent, le cadre a fait l'objet d'une évaluation grâce à une application pilote de niveau 1 (qualitative) à la zone de gestion intégrée de la côte nord du Pacifique (ZGICNP), et deux applications de niveau 2 (semi-quantitatives) à des ZPM de la région du Pacifique : la ZPM des monts sous-marins SGaan Kinghlas-Bowie (ZPM SK-B; Rubidge *et al.*[1]) et la ZPM des évents hydrothermaux Endeavour (ZPM-EHE); Thornborough *et al.*[2]). Les avis découlant de ces

[1] Rubidge, E., Thornborough, K., and O, M. Ecological Risk Assessment for the Effects of Human Activities at the SGaan Kinghlas-Bowie Seamount Marine Protected Area. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. (sous presse).
[2] Thornborough, K., Rubidge, E, O., M. Ecological Risk Assessment for the Effects of Human Activities at the Endeavour Hydrothermal Vents Marine Protected Area. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. (sous presse).

processus ont été utilisés pour étayer l'évaluation actuelle du risque écologique pesant sur la ZPM DH-DRC (MPO 2015a).

Le choix d'indicateurs écologiques fondés sur le risque constitue une autre étape clé dans l'élaboration d'un cadre de gestion adaptative du MPO pour les ZPM. En utilisant les résultats de l'évaluation du risque écologique qui pèse sur la ZPM DH-DRC comme point de départ, les indicateurs écologiques qui seront choisis durant ce processus seront ensuite utilisés pour que l'on puisse élaborer des stratégies de surveillance, mieux préciser les objectifs de conservation en définissant des objectifs opérationnels et élaborer des plans de surveillance. Un processus semblable de choix d'indicateurs fondés sur le risque a été précédemment appliqué à la ZPM SK-B (MPO 2015b; Thornborough *et al.* 2016a) et à la ZPM EHE (MPO 2015c; Thornborough *et al.* 2016b), et les avis découlant de ces processus seront également utilisés pour étayer l'évaluation actuelle.

La présente réponse des Sciences découle du processus de réponse des Sciences 2 Février, 2018 to review the ecological risk assessment and selection of risk-based indicators for the HS/QCS MPA.

Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le calendrier des avis scientifiques du MPO.

Renseignements de base

Les récifs d'éponges siliceuses des DH-DRC ont été découverts par la Commission géologique du Canada à la fin des années 1980 (Jamieson et Chew 2002). Tandis que l'on trouve des éponges siliceuses dans tous les océans du globe, les récifs des DH-DRC sont uniques de par leur taille et leur étendue. De plus, ils sont considérés comme représentant le seul exemple vivant des grands récifs d'éponges qui étaient abondants durant la période jurassique (Krautter *et al.* 2006), ce qui les rend important à l'échelle mondiale.

Les récifs d'éponges siliceuses des DH-DRC font formés de quatre récifs distincts qui constituent une bande discontinue couvrant une superficie de 425 km^2 à des profondeurs s'échelonnant entre 165 et 240 m (Conway *et al.* 2004; Annexe A). L'âge des récifs, selon les estimations, se situerait entre 6 000 et 9 000 ans (Conway *et al.* 2001). Les récifs d'éponges siliceuses affichent des structures complexes à trois dimensions, qui sont composées d'une matrice de squelettes d'éponges mortes colmatée par des sédiments, et des éponges vivantes croissant au sommet de celle-ci. Les récifs de la ZPM DH-DRC sont composés de trois espèces d'éponges : *Aphrocallistes vastus*, *Heterchone calyx* et *Farrea occa* (Conway *et al.* 2001). Les éponges vivantes affichent une hauteur de un à deux mètres et reposent sur des collines de squelettes colmatées par des sédiments qui mesurent en moyenne cinq à huit mètres de hauteur, mais peuvent atteindre jusqu'à 21 mètres (Lehnert *et al.* 2005; Conway et al 2007). Les récifs d'éponges des DH-DRC fournissent un refuge, un habitat et des aires de croissance à d'autres espèces aquatiques, notamment des espèces de sébastes ainsi que d'autres espèces de poissons, de mollusques et de crustacés (Chu et Leys 2010). En outre, leur capacité de filtration élevée leur confère un rôle important dans les processus concernant l'azote et le carbone (Kahn et al. 2015; Yahel et al. 2007). Les récifs d'éponges jouent également un rôle important dans le cycle mondial du silice en agissant comme un puits important du silice biogénique (Chu *et al.* 2011).

La désignation des récifs d'éponges siliceuses des DH-DRC comme zone de protection marine en vertu de la *Loi sur les océans* (*Gazette du Canada* 2017) confère à ceux-ci une protection complète contre les activités humaines qui seraient susceptibles d'avoir un impact négatif sur

les récifs. La première étape, si l'on veut protéger adéquatement la ZPM DH-DRC, consiste à dresser un inventaire complet des risques qui pèsent sur des composantes de l'écosystème et qui découlent des activités qui s'y déroulent et des agents de stress qui y sont présents, et mener une évaluation de ces risques. Deuxièmement, il faut établir des indicateurs appropriés pour aider à étayer les décisions de gestion concernant la surveillance et l'évaluation de l'état de la ressource. Mené de façon collective, ce travail contribue à l'engagement pris par le gouvernement du Canada d'adopter une démarche durable, reposant sur l'approche de précaution et intégrée de l'écosystème pour la gestion des océans, tel que prescrit dans la *Loi sur les océans* et dans la Stratégie sur les océans.

Cadre d'évaluation du risque écologique

On a appliqué un cadre d'évaluation du risque écologique (CERE) préalablement examiné et approuvé pour évaluer et classer les risques distincts et cumulatifs qui pèsent sur des composantes importantes de l'écosystème (CIE) (MPO 2015a). De façon générale, le processus repose sur une démarche hiérarchique pour établir la portée de CIE pertinentes, les choisir et en établir une cotation, des composantes qui, ensemble, permettent d'évaluer de façon exhaustive les impacts des activités anthropiques sur l'écosystème. Le cadre d'évaluation du risque écologique (CERE) est de nature hiérarchique et comporte deux phases : l'établissement de la portée et l'évaluation des risques. Selon l'échelle de l'application et la disponibilité des données, la phase de l'évaluation des risques peut être appliquée au niveau 1 (qualitatif), au niveau 2 (semi-quantitatif) ou au niveau 3 (entièrement quantitatif).

Pour ce qui est de la phase de l'établissement de la portée, on a utilisé la documentation scientifique existante pour dresser une liste des espèces, des habitats et des communautés/propriétés de l'écosystème à évaluer par rapport aux critères de choix des CIE et à d'autres considérations propres à des écosystèmes particuliers. Bien qu'il soit important d'établir toutes les CIE potentielles, seul un nombre limité d'entre elles ont été retenues aux fins de l'évaluation des risques. Les activités qui se déroulent dans la zone ont été établies en utilisant une liste officieuse précédemment dressée par le Secteur des océans du MPO en 2011, en consultation avec des intervenants, des chercheurs et des décideurs. Cette liste a été ajoutée et mise à jour aux fins de notre travail, et chaque activité a été évaluée pour que l'on puisse vérifier si elle se déroule actuellement dans la zone ou si l'on s'attend à ce qu'elle s'y déroule dans un avenir prévisible. Les agents de stress qui ont été établis d'après les activités relevées ont été recensés grâce à la mise au point de modèles sur la séquence des effets. Ces modèles décrivent les relations entre les activités humaines, les agents de stress connexes ainsi que la séquence de leurs effets (impact), lorsqu'un « agent de stress » est un facteur, d'ordre environnemental ou anthropique, qui cause ou déclenche un comportement ou un résultat (Busch *et al.* 2003).

Après l'établissement des CIE, des activités et des agents de stress durant la phase de l'établissement de la portée, le processus de l'évaluation des risques se poursuit par une phase analytique d'estimation des risques. Un risque est défini comme étant la « probabilité qu'une composante importante de l'écosystème subisse des répercussions négatives inacceptables de l'exposition à un ou plusieurs agents de stress » (O et al. 2015). Trois types de risques sont estimés : le risque relatif pesant sur une CIE, le risque cumulatif de plusieurs agents de stress pesant sur une CIE, et la capacité de nuisance d'agents de stress parmi toutes les CIE.

Les principaux renseignements produits grâce au CERE sont une liste de CIE concernant la ZPM DH-DRC classées par risque de dommages cumulatifs et l'établissement des activités ou des agents de stress qui sont à l'origine de ces risques, de pair avec une estimation de l'incertitude entourant chaque composante de l'équation des risques. Ces renseignements sont précieux pour les gestionnaires, car ils leur offrent l'information dont ils ont besoin pour prendre leurs décisions.

La liste des CIE classées et l'information sur les facteurs de risque sont également nécessaires si l'on veut soutenir l'étape suivante, à savoir l'élaboration d'indicateurs fondés sur le risque.

Établissement des priorités en fonction du risque et choix des indicateurs

Le choix d'indicateurs appropriés fait partie intégrante du cadre de gestion adaptative du Secteur de gestion des océans du MPO, région du Pacifique, car le choix des indicateurs mène à l'élaboration de stratégies de surveillance, où des objectifs de conservation plus généraux sont rendus fonctionnels à titre d'objectifs opérationnels qui sont propres à une zone, mesurables, atteignables, réalistes et opportuns sur le plan temporel. Un indicateur écologique est une composante particulière mesurable d'un écosystème que l'on utilise pour surveiller, évaluer et comprendre l'état d'un écosystème, les impacts d'activités anthropiques et l'efficacité des mesures de gestion vis-à-vis de l'atteinte des objectifs (adapté à partir de Rice et Rochet 2005). Les indicateurs les plus efficaces sont sensibles, répondent bien au changement, affichent une spécificité eu égard à une mesure de gestion particulière et sont des mesures relativement simples qui peuvent être utilisées pour rendre compte d'une situation plus complexe (Rice et Rochet 2005).

Les indicateurs fondés sur le risque sont choisis d'après les résultats d'un CERE appliqué à une zone particulière et comprennent des indicateurs de CIE, d'agents de stress et d'interactions entre des CIE et des agents de stress, classés par risque relatif. Les incertitudes associées au risque relatif calculé sont utilisées durant le processus d'établissement des priorités et nous aident à relever les lacunes dans nos connaissances. La répartition des agents de stress en deux séries, les risques *actuels* (prévisibles, qui se produisent la plupart des ans) et les risques *potentiels* (imprévisibles, qui se produisent peu fréquemment), nous permet d'établir une différence dans notre démarche de la surveillance des indicateurs à différentes échelles temporelles (c.-à-d. événement unique versus série chronologique). Lorsqu'on choisit des indicateurs des interactions entre une CIE et un agent de stress qui présentent le plus de risques, on peut fournir des avis scientifiques ciblés aux gestionnaires et accroître l'efficacité des stratégies de surveillance qui en découlent.

Le choix d'indicateurs fondés sur le risque repose sur des cotes de risques, de pair avec une évaluation de l'incertitude qui entoure les facteurs utilisés pour élaborer les indicateurs. Pour choisir les indicateurs, on se fie également sur la validation et l'incorporation des meilleures connaissances scientifiques disponibles. Le produit final comprend des séries d'indicateurs, plutôt qu'un seul ou deux indicateurs, et permet d'offrir une compréhension plus approfondie de la répartition et de l'étendue des CIE ainsi que des impacts des agents de stress de nature anthropique. La surveillance de ces indicateurs peut permettre l'élaboration subséquente de seuils et de mesures de gestion appropriées.

Le cadre de choix des indicateurs fondés sur le risque a été précédemment appliqué aux ZPM SK-B et EHE (Thornborough *et al.* 2016a, 2016b) et comporte trois étapes :

1. l'établissement de l'ordre de priorité des CIE, des agents de stress et des interactions entre des CIE et des agents de stress d'après les résultats de l'application du CERE (à l'aide de cotations du risque cumulatif, de la capacité de nuisance et de l'incertitude);
2. l'établissement des critères que doit remplir chaque indicateur;
3. le choix d'indicateurs qui remplissent ces critères en examinant la documentation scientifique disponible.

Les indicateurs des CIE ont été choisis d'après des attributs clés de la taille de la population (ou de l'habitat) et de l'état de la population (ou de l'habitat). Ces attributs sont directement reliés à la résilience qui découle de l'application du CERE, où des changements aigus et chroniques

correspondent à la taille et à l'état de la population, respectivement. Les indicateurs des agents de stress sont choisis d'après l'exposition, y compris la répartition (zone/profondeur), la saisonnalité (dimension temporelle) et la portée et la fréquence de la perturbation (intensité). Des indicateurs ont été choisis pour toutes les CIE et pour tous les agents de stress.

Les interactions entre des CIE et des agents de stress ont été subdivisées en tant qu'interactions *actuelles* et *potentielles*, puis ont été classées en fonction de leur cote de risque relatif en vertu du CERE et de l'incertitude qui les entoure. Seules les interactions affichant une cote de priorité allant de modérée à élevée ont été retenues aux fins du choix des indicateurs.

Enfin, des séries d'indicateurs ont été choisies pour les interactions entre des CIE et des agents de stress *actuelles* et *potentielles*. Les séries d'indicateurs intègrent des indicateurs choisis pour la CIE individuelle et l'agent de stress, ainsi que pour l'interaction entre ces deux éléments. L'établissement de séries d'indicateurs au lieu d'un seul nous permet de disposer d'options en matière de gestion et de rendre compte d'un éventail plus vaste d'attributs écologiques. Cette démarche fait en sorte qu'un éventail d'attributs sont mesurés et offre des options de rechange pour la surveillance des interactions entre des CIE et des agents de stress pertinentes. En outre, l'inclusion d'indicateurs propres à des CIE ou à des agents de stress particuliers dans une série d'indicateurs permet de répondre à deux objectifs : fournir des options de rechange si l'on ne peut pas mesurer des indicateurs propres à une interaction; l'information recueillie en surveillant les indicateurs propres à une CIE ou à un agent de stress peut aider à établir des lignes de base de l'information permettant de compléter les ensembles de données existants.

Analyse et réponse

Résultats de l'évaluation du risque écologique

Durant la phase préliminaire d'établissement de la portée, 397 espèces, trois habitats et sept communautés ou propriétés de l'écosystème ont été pris en considération comme CIE potentielles. Les CIE qui sont des espèces ont été évaluées à l'origine par l'entremise des critères originaux du CERE (O *et al.* 2015). Pour préciser davantage la liste des espèces candidates, il a été nécessaire d'évaluer celles-ci par rapport à six considérations supplémentaires qui sont propres aux écosystèmes des récifs d'éponges siliceuses. Les CIE qui sont des habitats et des communautés ou propriétés de l'écosystème ont été facilement recensés à partir des critères originaux fournis par O et ses collaborateurs (2015). À partir de la liste des CIE candidates, huit ont été finalement choisies aux fins d'inclusion dans la phase d'évaluation des risques de niveau 2 (semi-quantitative) (six CIE étant des espèces, deux CIE étant des habitats et deux CIE étant des communautés). Il convient de noter que, outre les quatre CIE qui sont des espèces et les deux CIE qui sont des habitats qui sont généralement choisies en appliquant les objectifs associés aux critères du CERE et de considérations supplémentaires, des examinateurs experts ont recommandé que l'on inclue deux CIE étant des espèces supplémentaires qui sont d'un intérêt particulier pour les écosystèmes des récifs d'éponges siliceuses. En outre, on a déterminé que l'on ne disposait pas, à l'heure actuelle, de données suffisantes pour étayer l'évaluation semi-qualitative du risque qui pèse sur les deux CIE qui sont des communautés, mais que ces communautés étaient suffisamment représentées par les CIE qui sont des espèces et des habitats et qui devaient faire l'objet de l'évaluation.

La phase d'établissement de la portée a également permis de recenser un vaste éventail d'agents de stress grâce à l'utilisation de modèles existants de la séquence des effets ou l'adaptation de ceux-ci, de pair avec l'élaboration d'un nouveau modèle de la séquence des effets conçu pour que l'on puisse traiter les effets génériques de la pêche. La liste complète des

interactions possibles a été davantage précisée grâce à l'utilisation d'une matrice des interactions entre des CIE et des agents de stress, laquelle a permis de relever un nombre total de 278 interactions entre une CIE et un agent de stress parmi les huit CIE dont les trois principales composantes de l'équation du risque, à savoir l'***Exposition***, la ***Résilience***, et le **Rétablissement,** ont été cotées dans leur intégralité, de pair avec des estimations de l'incertitude entourant chaque terme. On a établi l'incertitude globale approximative pour chaque estimation du risque relatif en utilisant une démarche heuristique modifiée à partir de Murray et ses collaborateurs (2016). L'utilisation d'un logiciel R analytique automatique nouvellement mis à jour (R Core Team 2016) a permis de mettre à l'essai tout un éventail d'hypothèses sous-jacentes pour en établir la robustesse et les répercussions sur les résultats finaux.

Pour toutes les CIE, l'agent de stress *potentiel* que représente une contamination aiguë à des hydrocarbures résultant d'un déversement d'hydrocarbures a dominé les cotes du ***Risque***, et était mu par une combinaison de cotes de l'***Exposition*** et des ***Conséquences*** uniformément élevées. En outre, les valeurs de l'incertitude étaient également élevées pour cet agent de stress. Étant donné leur similarité au chapitre de leur biologie et de leur fonction, les quatre CIE qui sont des espèces d'éponges et les deux CIE qui sont des habitats d'éponges (groupées sous la dénomination de CIE liées aux éponges) affichaient des cotes de ***Risque*** très semblables. Outre le fait de partager l'agent de stress recevant la cote la plus élevée (contamination aiguë aux hydrocarbures résultant d'un déversement d'hydrocarbures), les CIE partagent également les mêmes agents de stress affichant des cotes supérieures restants (bien que leur ordre relatif puisse changer parmi les CIE) suivants : remise en suspension du substrat en raison du chalutage par le fond, tassement du substrat en raison du chalutage pélagique et effets chroniques liés aux hydrocarbures ou à d'autres contaminants rejetés par des navires. Pour les deux CIE qui ne sont pas liées à des éponges (*M. quadrispina* et *S. paucispinis*), on a estimé un éventail plus vaste d'agents de stress comme posant les risques les plus élevés (autres que la contamination aux hydrocarbures résultant de déversements d'hydrocarbures, qui demeure l'agent de stress le plus important). Pour la galatée, les quatre agents de stress qui ont reçu les cotes les plus élevées sont la remise en suspension des sédiments liée au chalutage par le fond, les effets chroniques des hydrocarbures et d'autres contaminants rejetés par les navires et l'introduction d'espèces aquatiques envahissantes (EAE) résultant de l'échouage de navires. Inversement, les quatre principaux agents de stress pesant sur *S. paucispinis* sont l'enlèvement de matériel biologique associé au chalutage pélagique, la remise en suspension des sédiments liée au chalutage par le fond et la perturbation par le bruit associé au déplacement des navires. Comme pour les CIE liées aux éponges, la plus grande partie des agents de stress pour les CIE non liées aux éponges ne peuvent pas être discernés statistiquement (c.à-d. que les différences entre les médianes des agents de stress sont de loin compensées par la variabilité associée à chacun d'eux).

Les estimations du risque cumulatif pesant sur les CIE en tenant compte de tous les agents de stress (***RisqueC***) sont illustrées à la Figure 1. La CIE que représente l'habitat du jardin d'éponges affichait le risque cumulatif le plus élevé, mais de façon légère par rapport aux quatre CIE étant des espèces d'éponges (qui, ensemble, sont utilisées dans cette répétition de l'évaluation comme représentant une CIE étant un habitat récifal). On soupçonne que ce phénomène est le plus vraisemblablement dû à la nature moins prévisible de l'occurrence du jardin d'éponges, qui engendre une incertitude plus élevée associée aux cotes des agents de stress. Compte tenu du chevauchement de leurs intervalles d'incertitude de 10/90 %, les cinq CIE liées aux éponges qui ont reçu les cotes les plus élevées ne peuvent pas être distinguées sur le plan statistique (et la sixième ne peut être distinguée que de façon limitée).

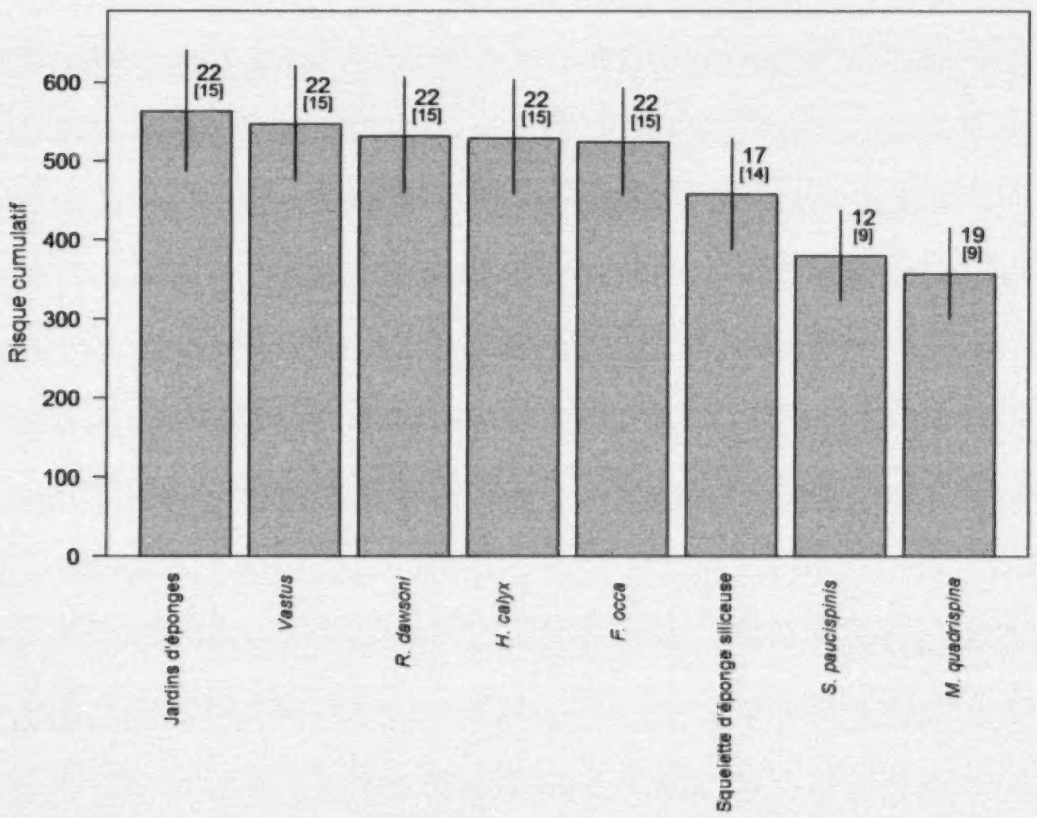

*Figure 1. Risque cumulatif (**RisqueC**) pour chaque CIE, classé par ordre d'importance descendant, avec des barres d'erreur de 10/90 % percentiles. Les nombres qui figurent au-dessus des colonnes indiquent le nombre d'agents de stress qui s'appliquent à cette CIE : tous les agents de stress [et les agents de stress distincts de zéro seulement].*

La **Capacité de nuisance** représente la somme des cotes de ***Risque*** pour chaque agent de stress et parmi toutes les CIE et est illustrée à la Figure 2. La contamination aiguë aux hydrocarbures résultant de déversements d'hydrocarbures (associés au trafic maritime) surpasse de loin tous les autres agents de stress, affiche l'estimation de la ***Capacité de nuisance*** la plus élevée et est pertinente pour tous les huit CIE. Les agents de stress liés à la pêche (six agents de stress) et à d'autres activités de trafic maritime (trois agents de stress) font partie des agents de stress figurant parmi les dix affichant la ***Capacité de nuisance*** la plus élevée, ayant chacun un impact sur six des huit CIE. Les perturbations associées aux activités sismiques représentent l'agent de stress lié à une activité de recherche le plus élevé. Les agents de stress restants sont associés à un vaste éventail de sous-activités, comme la pêche, la recherche et le trafic maritime.

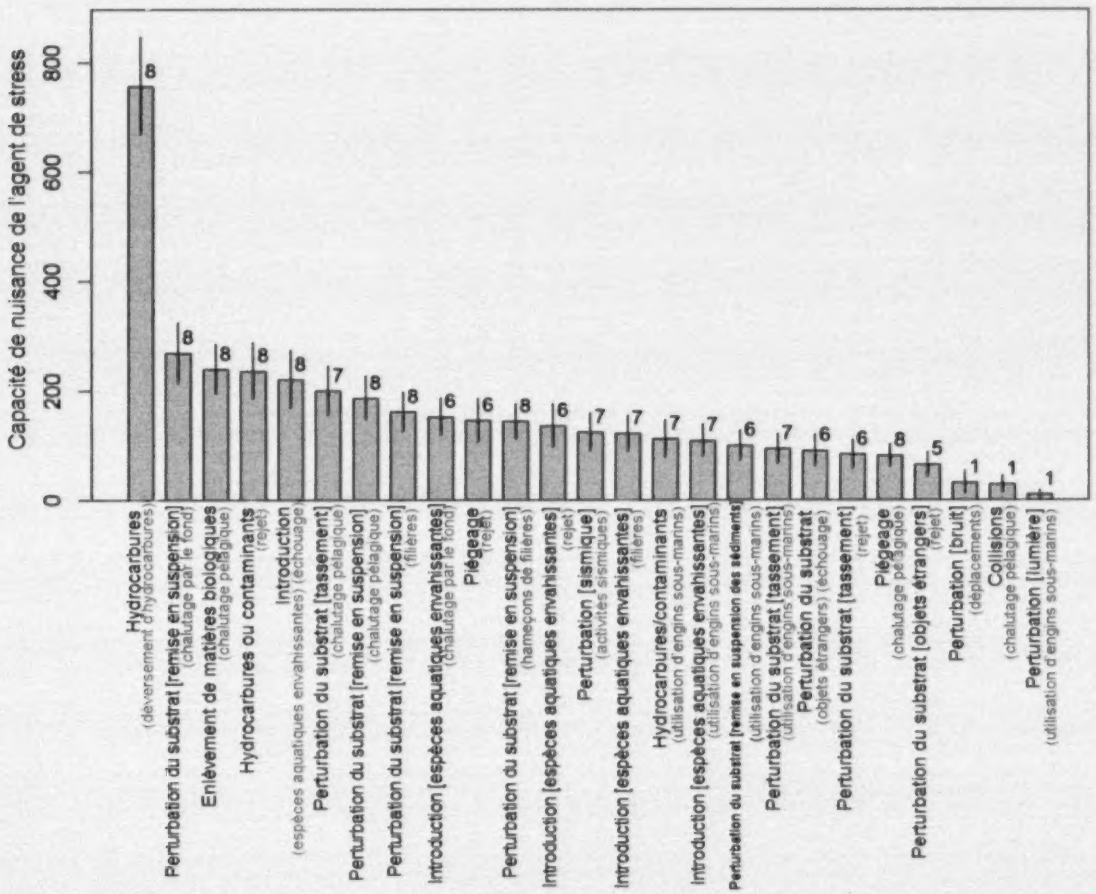

*Figure 2. Risque cumulatif par agent de stress (**Capacité de nuisance**) reporté par ordre descendant avec des percentiles de 10/90 % et montrant le nombre de CIE (sur huit) contribuant à la cote (au-dessus de la barre correspondante).*

Il est important d'étudier les éléments déclencheurs des cotes de ***Risque*** élevées si l'on veut mieux comprendre les impacts des activités humaines et comment l'on peut en atténuer les risques. Une cote de ***Risque*** élevée peut être déclenchée principalement par un facteur, bien que, le plus souvent, elle soit le résultat d'une combinaison de facteurs. Par exemple, des incertitudes élevées associées à des cotes d'exposition élevées se traduisent par une inflation des cotes de ***Risque***; c'est souvent le cas pour des agents de stress potentiels en raison de leurs conséquences élevées inhérentes et des incertitudes plus élevées qui les entourent (p. ex., du fait de leur faible incidence, on en sait moins à propos de leurs impacts aigus et chroniques).

L'inclusion de cotes d'incertitude avec chaque élément de risque faisant l'objet de l'évaluation nous permet d'établir un contexte supplémentaire pour la cotation et les résultats subséquents, et cette information supplémentaire liée aux cotes peut éclairer les gestionnaires à propos du niveau de certitude qui entoure une cote attribuée et des lacunes potentielles dans les connaissances. Le Tableau 1 fournit une ventilation simplifiée de ce qui peut déclencher des cotes de ***Risque*** élevées à propos d'interactions entre des CIE et des agents de stress et offre aux gestionnaires des orientations quant aux options les plus efficaces disponibles pour réduire les cotes de ***Risque*** élevées.

*Tableau 1. Orientations simplifiées pour que l'on puisse traiter les interactions entre des CIE et des agents de stress affichant des cotes de **Risque** élevées relevées durant l'évaluation des risques en examinant les cotes et ce qui pourrait les avoir déclenchées.*

		Cote de *Risque* élevées associée avec :	
		Incertitude faible	**Incertitude élevée**
Cote de *Risque* élevée déclenchée principalement par des valeurs relativement élevées des éléments suivants :	***Exposition***	• Une cote d'***Exposition*** élevée associée à une incertitude faible indique la confiance afférente à l'exposition élevée de la CIE à cet agent de stress. • La cote de ***Risque*** découlant de ce type d'interaction peut être réduite grâce à des mesures de gestion. • La réduction de l'***Exposition*** grâce à la réduction du chevauchement des zones, du chevauchement des profondeurs, de la fréquence ou de l'intensité de l'activité qui produit l'agent de stress pourrait aboutir à réduire la cote de ***Risque***. Par exemple, la réduction de la fréquence d'une pêche ou de la zone dans laquelle l'activité des navires qui produit l'agent de stress est permise peuvent se traduire par une diminution du ***Risque.***	• Une cote d'***Exposition*** élevée associée à une incertitude élevée peut indiquer la présence d'une lacune dans les données, où la cote de ***Risque*** connexe affiche une inflation en raison d'un manque de connaissances ou de données sur l'***Exposition*** (chevauchement spatial ou temporel, fréquence ou intensité de l'agent de stress). • Les gestionnaires peuvent tenter de réduire le ***Risque*** en déterminant la nature de l'exposition que l'on peut traiter au moyen de priorités de recherche ou de collecte de données sur l'agent de stress et l'activité.
	Conséquence	• Une cote de ***Conséquence*** élevée associée avec une valeur de l'incertitude faible indique qu'il a été bien établi que l'agent de stress a un effet néfaste sur la CIE. • Dans ce cas, les gestionnaires pourraient tenter de traiter la nature de l'***Exposition*** (chevauchement spatial ou temporel, fréquence ou intensité de l'activité ou de l'agent de stress) dans la mesure du possible pour réduire la cote de ***Risque***.	• Une cote de ***Conséquence*** élevée associée avec une incertitude élevée indique l'impact préjudiciable de l'agent de stress sur la CIE, lequel impact pourrait afficher une inflation en raison d'un manque de données ou de connaissances sur l'effet de l'agent de stress sur la CIE. • Cela indique une lacune dans les données et les connaissances sur la biologie de cette CIE ou sur les mécanismes de l'impact de l'agent de stress dans cette interaction entre la CIE et l'agent de stress. • Les gestionnaires pourraient demander des recherches sur la nature de l'impact de l'agent de stress sur la CIE afin de réduire la cote de ***Risque.***

Établissement des priorités en fonction du risque et choix des indicateurs

L'établissement préliminaire des priorités en matière de CIE et d'agents de stress est dérivé des résultats du CERE, où les cotes les plus élevées et les plus faibles de ***Risque cumulatif*** et de ***Capacité de nuisance*** sont corrélées aux priorités les plus élevées et les plus faibles pour les CIE et les agents de stress, respectivement. Pour chacune des huit CIE et pour chacun des

18 agents de stress relevés dans le CERE, plusieurs indicateurs (trois en moyenne) ont été choisis à partir de la documentation scientifique disponible et en fonction du respect des critères de choix des indicateurs.

Un nombre total de 106 interactions entre des CIE et des agents de stress ont été recensées comme ayant un impact sur la ZPM DH-DRC. Afin que l'on puisse fournir un avis scientifique pertinent, on a classé par ordre de priorité ces interactions entre des CIE et des agents de stress pour réduire le nombre d'interactions énumérées avant de choisir des indicateurs en utilisant la méthode décrite dans le cadre de choix des indicateurs fondé sur le risque (Thornborough *et al.* 2016a, 2016b). Une fois que les interactions ont été classées par ordre de priorité et que les interactions entre des CIE et des agents de stress de faible priorité ont été supprimés, on a examiné chaque interaction restante pour établir le principal paramètre déclenchant le risque (taille ou état de la population) et obtenir de l'information détaillée concernant l'impact sur l'interaction entre la CIE et l'agent de stress d'après la cote d'origine attribuée durant l'application du CERE. Enfin, huit interactions *potentielles* et 21 interactions *actuelles* ont été retenues aux fins du choix des indicateurs. Le Tableau 2 et le Tableau 3 résument la série d'indicateurs finaux pour les interactions entre des CIE et des agents de stress *actuelles* et *potentielles* qui sont considérées comme affichant une priorité allant de modérée à élevée pour la ZPM DH-DRC.

Tableau 2. Séries d'indicateurs proposés pour les interactions entre des CIE et des agents de stress actuelles dans la ZPM DH-DRC, présentés d'après l'ordre approximatif des résultats de l'établissement des priorités.

Activité	Agent de stress	Groupe de CIE	CIE	Indicateur de l'interaction CIE/agents de stress	Indicateur propre à la CIE	Indicateur propre à l'agent de stress
Chalutage pélagique	Prélèvement de matières biologiques	Sébaste bocaccio	Sébaste bocaccio	Abondance/densité de la population; biomasse des organismes enlevés	Abondance; diversité génétique; richesse et diversité en espèces	Prises par unité d'effort; exposition potentielle maximale
		Éponges siliceuses et éponges Rosselid/de Dawson	*Heterochone calyx*	Quantité (étendue aréale) de cicatrices découlant de l'enlèvement d'habitat; structure des communautés; biomasse des éponges enlevées (données sur les prises accessoires)	Abondance (étendue aréale)	Prises accessoires par unité d'effort; exposition potentielle maximale
			Farrea occa			
			Aphrocallistes vastus			
			Rhabdocalyptus dawsoni			
		Habitat physique	Matrice de squelettes d'éponges siliceuses (et matériaux qu'elle renferme)	Quantité (étendue aréale) de cicatrices découlant de l'enlèvement d'habitat; biomasse/type des matières enlevées (données sur les prises accessoires)	Abondance (étendue aréale)	Prises accessoires par unité d'effort; exposition potentielle maximale
		Habitat biotique	Jardins d'éponges (éponges siliceuses et démosponges ne formant pas de récifs)	Quantité (étendue aréale) de cicatrices découlant de l'enlèvement d'habitat; biomasse des éponges enlevées (données sur les prises accessoires)	Abondance (étendue aréale); structure des communautés	Prises accessoires par unité d'effort; exposition potentielle maximale
	Collisions	Sébaste bocaccio	Sébaste bocaccio	Aucun indicateur actuel ne permet de mesurer de façon appropriée cet agent de stress. Les incidents de collision entre des engins et des espèces mobiles pourraient faire l'objet d'un examen plus poussé.	Proportion d'espèces affichant des blessures visibles	Exposition potentielle maximale; proportion de chaluts qui piègent des espèces mobiles (échantillon partiel collecté au moyen d'appareils photos fixés à l'engin); engins perdus
	Perturbation du substrat (remise en suspension)	Éponges siliceuses et éponges Rosselid/de Dawson	*Heterochone calyx*	Abondance (relative) de colonies affichant des signes visibles d'étouffement	Abondance (étendue aréale); diversité génétique entre les récifs	Augmentation maximale induite des sédiments en suspension; augmentation maximale de la turbidité
			Farrea occa			
			Aphrocallistes vastus			
			Rhabdocalyptus dawsoni			

Activité	Agent de stress	Groupe de CIE	CIE	Indicateur de l'interaction CIE/agents de stress	Indicateur propre à la CIE	Indicateur propre à l'agent de stress
- Chalutage pélagique -	Perturbation du substrat (remise en suspension) -	Habitat biotique	Jardins d'éponges (éponges siliceuses et démosponges ne formant pas de récifs)	Quantité (étendue aréale) d'habitat montrant des signes de stress ou d'étouffement; structure des communautés	Richesse en espèces et diversité des assemblages; état	Augmentation maximale induite des sédiments en suspension; augmentation maximale de la turbidité
		Habitat physique	Matrice de squelettes d'éponges siliceuses (et matériaux qu'elle renferme)	Quantité (étendue aréale) d'habitats montrant des signes d'étouffement/stress	Abondance (étendue aréale)	Augmentation maximale induite des sédiments en suspension; augmentation maximale de la turbidité
-	Perturbation du substrat (tassement)	Habitat physique	Matrice de squelettes d'éponges siliceuses (et matériaux qu'elle renferme)	Quantité (étendue aréale) d'habitats montrant des signes de tassement	Abondance (étendue aréale)	Fréquence d'exposition potentielle; collisions
-		Habitat biotique	Jardins d'éponges (éponges siliceuses et démosponges ne formant pas de récifs)	Quantité (étendue aréale) d'habitat montrant des signes de tassement; structure des communautés	Abondance (étendue aréale); richesse en espèces et diversité des assemblages; état	Fréquence d'exposition potentielle; collisions
-		Éponges siliceuses et éponges Rosselid/de Dawson	*Heterochone calyx*	Abondance (relative) de colonies affichant des signes visibles de tassement	Santé/état; abondance	Fréquence d'exposition potentielle; collisions
			Farrea occa			
			Aphrocallistes vastus			
			Rhabdocalyptus dawsoni			
Chalutage par le fond	Perturbation du substrat (remise en suspension)	Habitat physique	Matrice de squelettes d'éponges siliceuses (et matériaux qu'elle renferme)	Quantité (étendue aréale/proportion) d'habitats montrant des signes d'étouffement	Abondance (étendue et répartition); richesse et diversité en espèces associées avec le squelette	Augmentation maximale induite des sédiments en suspension; augmentation maximale de la turbidité; composition du substrat; exposition potentielle maximale
		Habitat biotique	Jardins d'éponges (éponges siliceuses et démosponges ne formant pas de récifs)	Quantité (étendue aréale) d'habitats montrant des signes d'étouffement/stress	Abondance (étendue et répartition); santé/état lié à l'étouffement physique; richesse et diversité en espèces des communautés connexes	Augmentation maximale induite des sédiments en suspension; augmentation maximale de la turbidité; composition du substrat; exposition potentielle maximale
		Éponges siliceuses et	*Heterochone calyx*	Abondance des colonies affichant des signes	Santé/état; abondance	Augmentation maximale induite des sédiments en
			Aphrocallistes			

Activité	Agent de stress	Groupe de CIE	CIE	Indicateur de l'interaction CIE/agents de stress	Indicateur propre à la CIE	Indicateur propre à l'agent de stress
		éponges Rosselid/de Dawson	*vastus*	d'étouffement; nombre de colonies affichant des signes d'étouffement (santé et étouffement visible)		suspension; augmentation maximale de la turbidité
			Farrea occa			
			Rhabdocalyptus dawsoni			
		Sébaste bocaccio	Sébaste bocaccio	Changement de l'état/effets sublétaux de l'étouffement sur les sébastes bocaccio en tant que proportion de la population présente sur les récifs	Abondance; biomasse; coefficient de condition K	Augmentation maximale induite des sédiments en suspension; augmentation maximale de la turbidité
		Galatée	*Munida quadrispina*	Changement de l'état/effets sublétaux de l'étouffement sur *M. quadrispina* en tant que proportion de la population présente sur les récifs	Abondance/densité des espèces; biomasse; santé/état; répartition spatiale des espèces	Augmentation maximale induite des sédiments en suspension; augmentation maximale de la turbidité
Rejet	Hydrocarbures/contaminants	Habitat biotique	Jardins d'éponges (éponges siliceuses et démosponges ne formant pas de récifs)	Quantité (étendue aréale/proportion) d'habitat montrant des signes visibles de piètre état ou d'étouffement; richesse en espèces et diversité des organismes associés avec l'habitat	Abondance (étendue et répartition); santé/état lié à des dommages physiques; richesse et diversité en espèces	Fréquence de l'exposition potentielle; volume rejeté; proportion d'échantillons d'eau dépassant les normes de qualité de l'eau/les paramètres d'intérêt
		Habitat physique	Matrice de squelettes d'éponges siliceuses (et matériaux qu'elle renferme)	Quantité (étendue aréale/proportion) d'habitats étouffés par la présence d'hydrocarbures; persistance d'hydrocarbures dans l'habitat	Abondance (étendue et répartition); richesse en espèces et diversité du biote connexe	Fréquence de l'exposition potentielle; volume rejeté; proportion d'échantillons d'eau dépassant les normes de qualité de l'eau/les paramètres d'intérêt
		Éponges siliceuses et éponges Rosselid/de Dawson	*Heterochone calyx*	Abondance de colonies affichant des dommages visibles/des organismes morts (proportion); changement de l'état/effets sublétaux	Santé/état; abondance; richesse en espèces	Fréquence de l'exposition potentielle; volume rejeté; proportion d'échantillons d'eau dépassant les normes de qualité de l'eau/les paramètres d'intérêt
			Aphrocallistes vastus			
			Farrea occa			
			Rhabdocalyptus dawsoni			

Tableau 3. Séries d'indicateurs proposés pour les interactions entre des CIE et des agents de stress potentielles, présentés d'après l'ordre approximatif des résultats de l'établissement des priorités.

Activité	Agent de stress	Groupe de CIE	CIE	Indicateur de l'interaction CIE/agents de stress	Indicateur propre à la CIE	Indicateur propre à l'agent de stress
Déversement d'hydrocarbures	Hydrocarbures/contaminants	Éponges siliceuses et éponges Rosselid/boot formant des récifs	*Aphrocallistes vastus* *Rhabdocalyptus dawsoni* *Farrea occa* *Heterochone calyx*	Abondance de colonies affichant des dommages visibles/des organismes morts; changement de l'état/effets sublétaux; changement de la diversité génétique	Santé/état; abondance; richesse en espèces	Densité des navires au voisinage de la ZPM DH-DRC: volume d'hydrocarbures déversés; type d'hydrocarbure
		Habitat biogénique	Jardins d'éponges	Abondance; richesse en espèces/présence de maladies	Santé/état; abondance; richesse en espèces	Densité des navires au voisinage de la ZPM DH-DRC: volume d'hydrocarbures déversés; type d'hydrocarbure
		Sébaste bocaccio	Sébaste bocaccio	Changement de l'état/ effets sublétaux; diminution de l'abondance	Abondance; diversité et structure génétiques; richesse et diversité en espèces	Densité des navires au voisinage de la ZPM DH-DRC: volume d'hydrocarbures déversés; type d'hydrocarbure
		Habitat physique	Matrice de squelettes d'éponges siliceuses	Proportion de l'habitat montrant des signes visibles d'étouffement par les hydrocarbures	Santé/état; abondance; richesse en espèces	Densité des navires au voisinage de la ZPM DH-DRC: volume d'hydrocarbures déversés; type d'hydrocarbure
		Galatée	*Munida quadrispina*	Abondance d'organismes affichant des symptômes de stress; effets sublétaux	Abondance/densité; structure des tailles; répartition spatiale; santé/état	Densité des navires au voisinage de la ZPM DH-DRC: volume d'hydrocarbures déversés; type d'hydrocarbure

Conclusions et avis

L'évaluation du risque écologique et le processus de choix d'indicateurs fondé sur le risque suivent très étroitement des processus semblables qui ont été mis en œuvre récemment, avec plusieurs exceptions de moindre importance à la démarche analytique. Le choix d'indicateurs écologiques fondés sur le risque constitue une étape clé dans l'élaboration d'un cadre de gestion adaptative du MPO pour la ZPM DH-DRC. Des séries d'indicateurs sont proposés pour les agents de stress *actuels* (prévisibles, qui se produisent la plupart des ans) et *potentiels* (imprévisibles, qui se produisent peu fréquemment), et les deux incorporent des indicateurs propres aux CIE, propres aux agents de stress et propres à une interaction entre une CIE et un agent de stress. Une fois que la répétition mise à jour de l'évaluation des risques sera achevée, les indicateurs qui seront choisis durant ce processus pourront être utilisés pour que l'on puisse élaborer des stratégies de surveillance, mieux préciser les objectifs de conservation en définissant des objectifs opérationnels et élaborer des plans de surveillance. Dans la mesure où les données sont recueillies par le biais de la surveillance des indicateurs, elles peuvent être réintégrées dans le cadre de gestion adaptative pour les prochaines évaluations des risques et de certains indicateurs, ainsi que pour le choix de nouveaux indicateurs et le perfectionnement des plans de surveillance.

- Les résultats de l'évaluation des risques font ressortir les CIE sur lesquelles pèsent les risques cumulatifs les plus élevés (***Risque cumulatif),*** y compris les CIE qui sont des jardins d'éponges, les trois espèces d'éponges formant des récifs et l'éponge boot (*R. Dawsoni*) qui, toutes, affichent des valeurs semblables de ***Risque cumulatif.*** Les agents de stress qui affichent la ***Capacité de nuisance*** la plus élevée (la somme des cotes de ***Risque*** pour chaque agent de stress entre toutes les CIE) sont les suivants : les hydrocarbures (sources aiguës liées aux déversements d'hydrocarbures) et les hydrocarbures ou les contaminants provenant de rejets chroniques; la perturbation du substrat [remise en suspension] et [tassement] résultant des activités de chalutage par le fond et de chalutage pélagique.
- Des lignes directrices sont fournies pour faire ressortir la manière la plus efficace, pour les gestionnaires, de traiter les interactions qui affichent des cotes de ***Risque*** élevées (telles que relevées durant l'évaluation des risques) en se fondant sur les éléments déclencheurs sous-jacents des cotes de ***Risque*** (c.-à-d. cotes d'***Exposition*** élevées, cotes de ***Conséquence*** élevées ou les deux). (Tableau 1)
- L'évaluation des risques a permis de relever tout un éventail de priorités en matière de recherches qui seront utiles lors des répétitions futures de l'évaluation des risques. Par exemple, pour faciliter l'inclusion future de CIE qui représente des communautés ou des propriétés de l'écosystème dans l'évaluation des risques, il faudra recueillir des données de base sur l'écosystème et effectuer des analyses du réseau trophique. L'établissement de la structure trophique et des groupes fonctionnels au sein d'un récif d'éponges siliceuses constitue une première étape de l'analyse des communautés, qui sera suivie par des recherches sur l'abondance et la diversité. En outre, nous avons toujours besoin de recherches ciblant des espèces d'éponges siliceuses entrant dans la composition des récifs pour pouvoir mieux différencier les risques relatifs que font peser sur elles les activités humaines.
- Un certain nombre d'améliorations d'ordre méthodologique ont été apportées durant cette application du CERE. En particulier, l'utilisation d'une distribution normale tronquée pour la modélisation de l'incertitude, un traitement différent pour les interactions dont la ***Résilience*** se voit attribuer une cote de zéro mais qui présentent une incertitude élevée et des outils de

gestion des données qui améliorent la relativité et l'uniformité des cotes entre les interactions entre des CIE et des agents de stress. On recommande d'adopter ces améliorations méthodologiques pour les applications et les répétitions futures du CERE, et que les applications futures du CERE continuent à intégrer des examens d'experts à chaque étape de l'évaluation des risques (rationnalisées le plus possible).

- La présente analyse a été achevée en utilisant une interprétation « actuelle » du règlement d'établissement de la ZPM qui a récemment été mis en place. Pour faire en sorte que l'analyse demeure pertinente pour la ZPM, il sera important d'évaluer comment le règlement est interprété (c.-à-d. reposera sur de l'information découlant de plans d'activités approuvés et de données mises à jour sur le trafic maritime) dans le cadre des répétitions futures de l'évaluation des risques, une fois que le règlement sur la ZPM aura été appliqué durant plusieurs années.
- Les processus du CERE et du choix des indicateurs entraînent la compilation et la synthèse de volumes élevés de données et d'information. On recommande de déployer des efforts visant à préserver ces résultats intermédiaires par l'application d'outils comme le portail des données ouvertes du gouvernement du Canada pour faire en sorte que les résultats puissent être reproduits et pour une utilisation lors des répétitions futures du processus.
- Les séries d'indicateurs des agents de stress *actuels* et *potentiels* devront être prises en considération lors de l'élaboration de stratégies et de plans de surveillance, et l'on devra utiliser une combinaison d'indicateurs de CIE, d'agents de stress et d'interactions entre des CIE et des agents de stress.
- La série d'indicateurs *actuels* doit faire l'objet d'une surveillance, en même temps que la collecte d'information générale pour établir des lignes de base et mesurer les perturbations en utilisant des indicateurs de CIE et d'agents de stress.
- La série d'indicateurs *potentiels* doit faire l'objet d'une surveillance en deux étapes : l'établissement de lignes de base de l'information reposant sur des indicateurs de CIE et d'agents de stress; si et lorsque l'agent de stress potentiel se confirme, l'utilisation d'indicateurs de l'interaction entre une CIE et l'agent de stress pour mesurer la perturbation et effectuer une comparaison avec les lignes de base concernant la population.
- Les indicateurs doivent être mesurés en utilisant des méthodes non destructives, dans la mesure du possible, comme des relevés visuels et l'utilisation d'ensembles de données et d'échantillons existants. Plusieurs indicateurs peuvent être mesurés ou échantillonnés durant la même période d'activités en utilisant les relevés visuels.
- L'efficacité des indicateurs proposés à mesurer les changements des CIE qui résultent d'interactions avec des agents de stress ne sera pas pleinement établie avant le début de la surveillance. Les indicateurs de rendement doivent être évalués en fonction de leur capacité à suivre les propriétés d'intérêt (dans le cas présent, les impacts des agents de stress et l'établissement de lignes de base sur la population pour les CIE) et de leur capacité à détecter ou à prévoir des tendances dans les paramètres. Le présent processus d'évaluation pourrait se traduire par l'ajout ou la suppression d'indicateurs des plans de surveillance.

Collaborateurs

Collaborateur	Organisme d'appartenance
Lucie Hannah	Secteur des sciences du MPO, région du Pacifique
Kate Thornborough	Secteur des sciences du MPO, région du Pacifique
Mary Thiess	Secteur des sciences du MPO, région du Pacifique
Kim Conway	Ressources naturelles Canada
Sally Leys	Université de l'Alberta
Anya Dunham	Secteur des sciences du MPO, région du Pacifique
Stephanie Archer	Secteur des sciences du MPO, boursière de recherches postdoctorales, CRSNG
Miriam O	Secteur des sciences du MPO, région du Pacifique
Jackson Chu	Secteur des sciences du MPO, boursier de recherches postdoctorales, CRSNG
Jason Dunham	Secteur des sciences du MPO, région du Pacifique
Jeffrey Lemieux	Secteur des sciences du MPO, région du Pacifique

Approuvé par

Carmel Lowe
Directeur régional
Direction des sciences, Région du Pacifique
Pêches et Océans Canada

Le 9 mai 2018

Sources de renseignements

La présente réponse des Sciences découle du processus de réponse des Sciences du 2 février 2018 pour examiner l'évaluation du risque écologique et les choix d'indicateurs fondés sur le risque pour la zone de protection marine des récifs d'éponges siliceuses du détroit d'Hécate et du bassin de la Reine-Charlotte.

Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada (MPO).

Gazette du Canada. 2017. Règlement sur les zones de protection marine des récifs d'éponges siliceuses du détroit d'Hécate et du bassin de la Reine-Charlotte. (DORS/2017-15) C.P. 2017-110, le 13 février 2017. 151: 4.

Conway, K.W., Barrie, J.V. et Krautter, M. 2004. Modern siliceous sponge reefs in a turbid, siliciclastic setting: Fraser River delta, British Columbia, Canada. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie 6: 335-350.

Conway, K.W., Krautter, M., Barrie, J.V. et Neuweiler, M. 2001. Hexactinellid sponge reefs on the Canadian continental shelf: A unique "Living Fossil". Geoscience Canada 28(2): 71-78.

Conway, K.W., Barrie, J.V., and Krautter, M., 2007, Complex deep shelf habitat: sponge reefs in the Pacific Northwest,in Todd, B.J., and Greene, H.G., eds., Mapping the Seafloor for Habitat Characterization: Geological Association ofCanada, Special Paper 47: 259-270

Chu, J. et Leys, S. 2010. High resolution mapping of community structure in three glass sponge reefs (Porifera, Hexactinellida). Marine Ecology Progress Series 417: 97-113.

Chu, J., Maldonado, M., Yahel, G. et Leys, S. 2011. Glass sponge reefs as a silicon sink. Marine Ecology Progress Series 441: 1-14.

MPO. 2013. Recensement et évaluation des effets biologiques et des impacts des sédiments sur les récifs d'éponges dans le détroit d'Hécate. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2013/062.

MPO. 2015a. Application d'un cadre d'analyse du risque écologique visant à guider la gestion écosystémique des zones de protection marine du mont sous-marin Bowie (SGaan Kinghlas) et du champ hydrothermal Endeavour. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2015/037.

MPO. 2015b. Élaboration d'indicateurs fondés sur les risques pour la zone de protection marine du champ hydrothermal Endeavour à l'aide du cadre d'évaluation du risque écologique. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2015/053.

MPO. 2015c. Élaboration d'indicateurs fondés sur les risques pour la zone de protection marine du mont sous-marin Bowie (SGaan Kinghlas) à l'aide du cadre d'évaluation du risque écologique. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2015/054.

Jamieson, G.S. et Chew, L. 2002. Hexactinellid Sponge Reefs: Areas of Interest as Marine Protected Areas in the North and Central Coast Areas. DFO. Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2002/122. 77 p.

Kahn, A.S., Yahel, G., Chu, J.W.F., Tunnicliffe, V. et Leys, S.P. 2015. Benthic grazing and carbon sequestration by deep-water glass sponge reefs. Limnology and Oceanography 60: 78-88.

Krautter, M., Conway, K.W. et Vaughn Barrie, J. 2006. Recent Hexactinosidan sponge reefs (silicate mounds) off British Columbia, Canada: Frame-building processes. Journal of Paleontology 80(1): 38-48.

Lehnert, H., Conway, K.W., Vaughn Barrie, J. et Krautter, M. 2005. *Desmacella austini* sp. Nov. from sponge reefs off the Pacific coast of Canada. Contributions to Zoology 74(3/4): 265-270.

Murray, C.C., Mach, M.E. et O, M. 2016. Pilot ecosystem risk assessment to assess cumulative risk to species in the Pacific North Coast Integrated Management Area (PNCIMA). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2016/049. vii + 59 p.

O, M., Martone, R., Hannah, L., Greig, L., Boutillier, J. et Patton, S. 2015. An Ecological Risk Assessment Framework (ERAF) for Ecosystem-based Oceans Management in the Pacific Region. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2014/072. vii + 59 p.

R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienne (Autriche).

Rice, J.C. et Rochet, M.J. 2005. A framework for selecting a suite of indicators for fisheries management. ICES Journal of Marine Science 62: 516-527.

Thornborough, K., Dunham, J. et O, M. 2016a. Development of risk-based indicators for the SGaan Kinghlas-Bowie Seamount Marine Protected Area. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2016/027. vii + 120 p.

Thornborough, K., Dunham, J. et O, M. 2016b. Development of risk-based indicators for the Endeavour Hydrothermal Vents Marine Protected Area. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2016/028. vii + 124 p.

Yahel, G., Whitney, F., Reiswig, H.M., Eerkes-Medrano, D.I. et Leys, S.P. 2007. *In situ* feeding and metabolism of glass sponges (Hexactinellida, Porifera) studied in a deep temperate fjord with a remotely operated submersible. Limnology and Oceanography 52(1): 428-440.

Annexe A

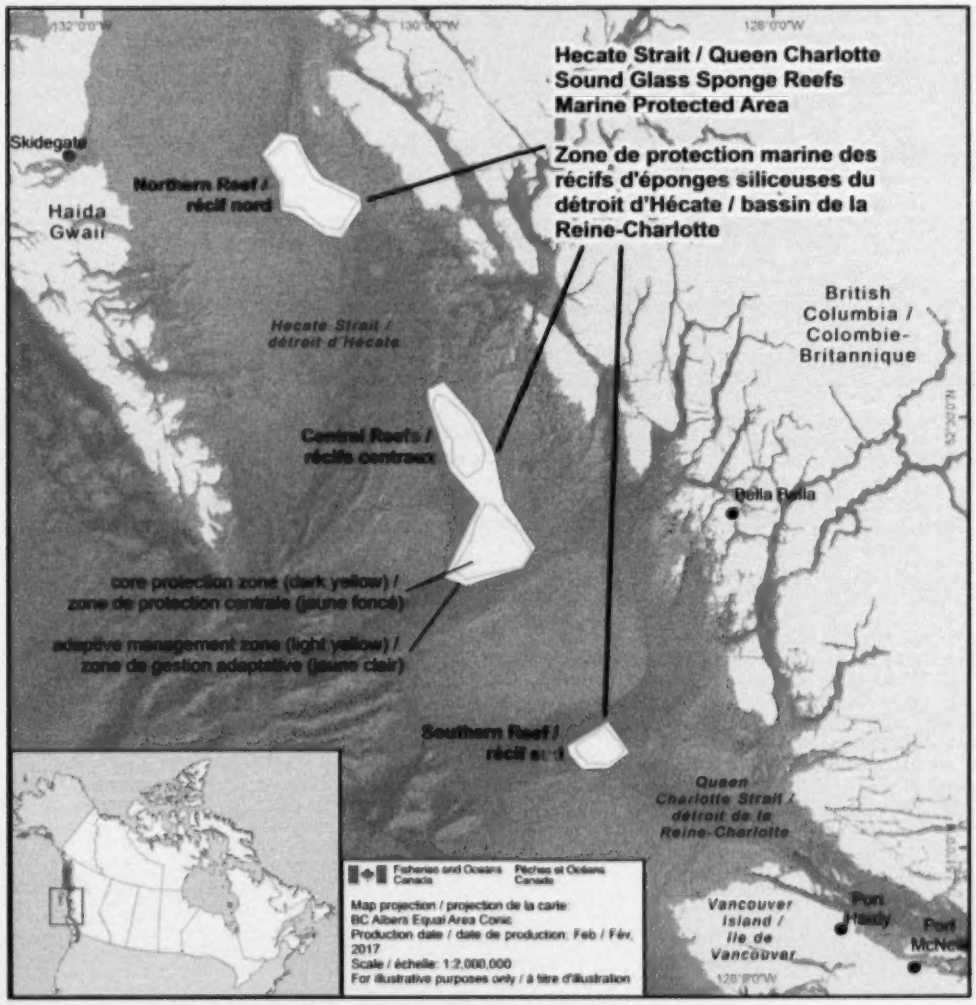

Figure A1. Carte montrant les limites de la zone de protection marine des récifs d'éponges siliceuses du détroit d'Hécate et du bassin de la Reine-Charlotte.

Le présent rapport est disponible auprès du :

Centre des avis scientifiques (CAS)
Région du Pacifique
Pêches et Océans Canada
3190, chemin Hammond Bay
Nanaimo (Colombie-Britannique) V9T 6N7

Téléphone : (250) 756-7208
Courriel: csap@dfo-mpo.gc.ca
Adresse Internet: www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/

ISSN 1919-3815
© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2018

La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2018. Évaluation du risque écologique et choix d'indicateurs fondés sur le risque pour la zone de protection marine des récifs d'éponges siliceuses du Détroit d'Hécate et du bassin de la Reine-Charlotte. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2018/040.

Also available in English:

DFO. 2018. Ecological risk assessment and selection of risk-based indicators for the Hecate Strait and Queen Charlotte Sound Glass Sponge Reefs Marine Protected Area. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Resp. 2018/040.